

Sistemas Eléctricos de Potencia.

Curvas de Potencia-Tensión (P-V).

Electrical Power Systems.
Power - voltage curves (P- V).

Ricardo Alonso Muñoz González
Tecnología Eléctrica, Universidad tecnológica
de Pereira, Pereira, Colombia.
ramunoz@utp.edu.co

Resumen- En este trabajo se analiza un problema que puede presentarse en un sistema eléctrico de potencia asociado a la inestabilidad de tensión eléctrica. Para el análisis se toma un sistema de prueba, que se denominará: caso base, en la hora de mayor demanda para este sistema. Se toman datos de las tensiones nodales y de la potencia activa. Los resultados se presentan en forma de tablas y gráficas.

Palabras clave— Sistema eléctrico de potencia, curvas P-V, tensión eléctrica, potencia activa, sensibilidad.

Abstract— In this work we analyze one problem that can occurs in an electrical power system due to the instability of the electrical voltage in its nodes. In order to have a better understanding of the subject, a "base case" of an electrical power system in a time zone of more power requirement will be taken as an example, in order to better study the behavior of the nodes, their active power and their electrical voltage. Using tables and graphs we will study the phenomenon that occurs after the power varies in a node.

Key Word— Electrical power system, P-V curves, electric voltage, active power, sensitivity.

trabajo se analiza una de esas posibles anomalías que pueden surgir en estos sistemas: las curvas P-V (potencia activa vs tensión eléctrica) o también conocida como “curva de nariz” (llamada así debido a su similitud con una nariz vista en perfil). [1]

Para poder tener una idea clara de cómo ocurre este fenómeno y bajo qué circunstancias, analizaremos distintos casos, tomando como referencia un caso base, que se implementa sobre la hora de operación pico (19:00 horas) del sistema de prueba, colocando los resultados en tablas para así tener una visión más clara de la relación que tiene la potencia activa (P) con la tensión eléctrica (V) en un sistema eléctrico de potencia.

1. Sistemas Eléctricos de Potencia.

Se define así al conjunto de elementos físicos necesarios para realizar la interconexión entre generadores de gran potencia y los grandes centros de consumo de energía eléctrica a través de un sistema de interconexión, denominado sistema de transmisión de alta potencia y alta tensión. [1][2].

La energía eléctrica pasa por varios niveles de potencia y de tensión cuando va desde los centros de generación hasta los consumidores finales. Dependiendo del nivel de tensión y de potencia que se maneje, encontramos los siguientes niveles de tensión: [3].

- **Distribución secundaria→ Nivel 1**
(120/208/220/380/440V_{ac}; <1 KV)
- **Distribución Primaria→ Nivel 2**
(≥1 KV y < 30KV (2,4/13,2/13,8 KV))

I. INTRODUCCIÓN

El sistema que se requiere para hacer llegar al consumidor la energía eléctrica se conoce como “Sistema eléctrico de potencia”. Este posee distintos elementos que se agrupan en 3 partes importantes: Generación, Transmisión y distribución. En este trabajo se analiza el aspecto de transmisión y generación, centrado en la variación de la potencia activa y su impacto en la tensión nodal.

Para un sistema eléctrico de potencia la estabilidad es un tema complejo, muchos factores pueden afectar la operación del sistema siendo este muy sensible al colapso. En este

- **Sistema de Sub Transmision→ Nivel 3-4**
($>30\text{ KV}$ y $< 20\text{ KV}$ (33/34,5/115 KV))
- **Sistema de Transmisión→ Nivel 4**
($\geq 220\text{ KV}$ (220/230/500 KV)) [3]

2. Curvas P-V.

Un sistema ingresa a un estado de inestabilidad de tensión cuando una perturbación, un incremento en la demanda de la carga o un cambio en la condición de operación o topología del sistema provocan una progresiva e incontrolable caída en la tensión.

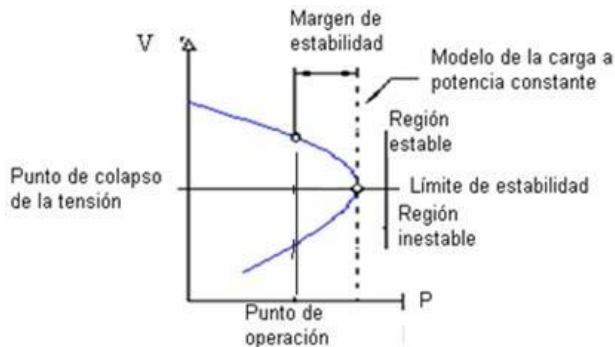


Figura 1. Grafica de una curva PV.

Estas curvas pueden ser calculadas para cualquier nodo de un sistema eléctrico mediante la realización de sucesivos flujos de carga, como podemos observar en la figura el sistema nunca opera en la “región inestable” y estos valores por debajo de esta no pueden ser calculados mediante un flujo de carga convencional.

Como puede observarse, un aumento excesivo de la carga provocaría un descenso progresivo de la tensión y, en último caso, la inestabilidad del sistema.

En general, la inestabilidad de tensión puede aparecer en redes débiles, o bien en sistemas muy cargados donde la potencia activa tiene que recorrer un largo camino desde los generadores hasta las cargas [1][2][4][5].

3. Metodología.

Para este estudio de curvas P-V en un sistema eléctrico de potencia, se tomó como base un sistema básico (pequeño) y una hora pico para la potencia eléctrica P (19:00 horas). Con el fin de obtener los datos, la potencia en los nodos del sistema fue variando una por vez, pasando por todos los nodos en los que se encuentran las cargas. El programa usado es el programa comercial NEPLAN que permite resolver problemas de flujo de carga.

El estudio entrega una cantidad grande de datos que fueron puestos en tablas, aquí solo se presentan las tablas más relevantes para el entendimiento del comportamiento de la tensión eléctrica en los nodos con respecto a la potencia activa en un sistema eléctrico de potencia.

También, se considera que para el caso a analizar, la potencia máxima que pueden tener las cargas es de 95MW. Así, el valor de potencia máxima que se le asignó a los nodos, fue de 95MW, debido a que esta es la potencia activa total de las cargas del sistema.

Para cada nodo se estudió la probabilidad de que la carga de cada uno de estos, se vea incrementada en un 3% por cada año (crecimiento de la carga por crecimiento de la población o la industria), calculando así, para cada nodo, la cantidad aproximada de tiempo en años que tardaría el sistema en colapsar a causa del incremento gradual que se tiene en los nodos. Los resultados para cada nodo se presentan más adelante en forma de gráficas.

Fórmula usada para calcular la cantidad de años que deben pasar para cada nodo y que este entre a colapso de sistema:

$$P_1 = 1,03P_0$$

$$P_2 = 1,03(P_1) = (1,03)(1,03)P_0$$

$$P_i = (1,03)^i P_0$$

Se despeja i:

$$(1,03)^i = \frac{P_i}{P_0}$$

$$\ln(1,03)^i = \ln\left(\frac{P_i}{P_0}\right)$$

$$\Rightarrow i = \frac{\ln\left(\frac{P_i}{P_0}\right)}{\ln(1,03)}$$

Dónde:

i = Cantidad de años que deben de transcurrir para que el sistema colapse.

P_0 = Carga inicial del nodo.

P_i =Carga donde el nodo entra en colapso.

4. Sistema de Prueba.

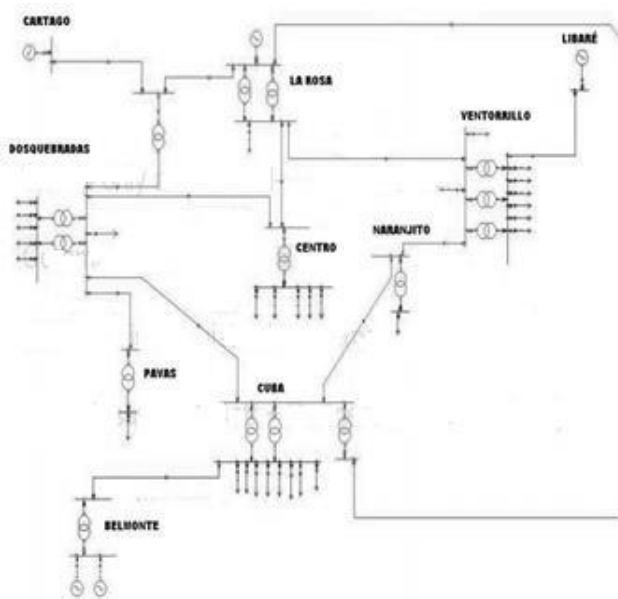


Figura 2. Sistema de prueba.

El caso base se construyó asumiendo una importación de 30MW por Cartago y una tensión de 102,68% para el mismo. Este nodo frontera se simula como nodo PV para este sistema. El nodo LA ROSA es también un nodo importador, se asume como nodo SLACK con una tensión de 100%. El nodo BELMONTE es un nodo de generación local y se asume como nodo PQ, este con 2 generadores de 1MW. El nodo LIBARE es también un nodo de generación local y se asume como nodo PQ con una potencia activa de 4MW.

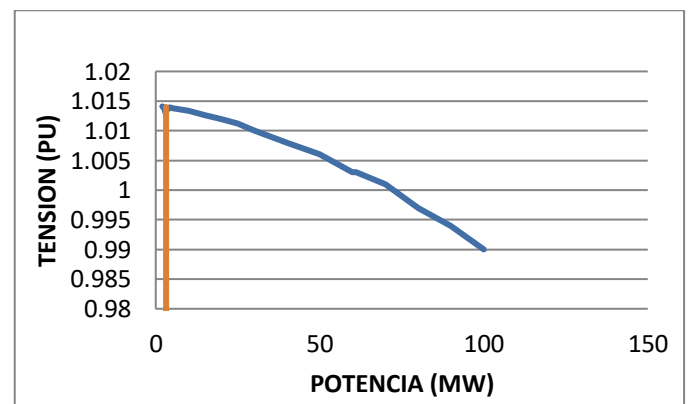
El nodo LA ROSA se tomó como nodo SLACK o compensador debido a que se importa la mayor parte de potencia activa al sistema, además, es el nodo más interconectado del sistema.

Para la simulación del sistema, se requirió inyectar potencia reactiva y así estabilizar las tensiones del sistema: también se ajustaron los *taps* de los transformadores teniendo más cuidado con los ubicados en el centro del sistema (nodos cuba y nodos Dosquebradas).

5. Pruebas y resultados.

Los resultados de la toma de datos fueron colocados en tablas, a continuación se muestran las tablas con los resultados obtenidos y las gráficas de las curvas P-V. También los resultados del cálculo de los años que toma el nodo en colapsar por incremento de carga en este (3% por año).

Nodo PAVAS (13,8 KV) :



Gráfica 1. PAVAS de 13,8 kV.

Aplicamos la fórmula para calcular los años que toma a este nodo llevar al sistema al colapso (teniendo en cuenta un crecimiento de 3% por año en la carga), tenemos que:

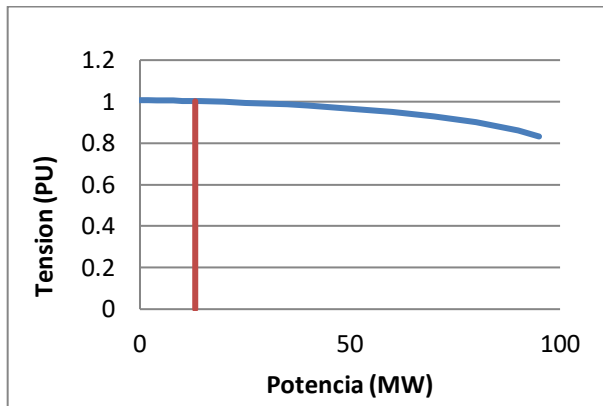
$$P_0 = 7,480MW$$

$$P_i = 318MW$$

$$i = \frac{\ln\left(\frac{318MW}{7,480MW}\right)}{\ln(1,03)}$$

$$i = 126,85 \approx 127 \text{ años}$$

Nodo CENTRO (13,2KV):



Grafica 2. CENTRO de 13,2KV.

Aplicamos la fórmula para calcular los años que tomaría que este nodo lleve el sistema al colapso (teniendo en cuenta un crecimiento de 3% por año en la carga), tenemos que:

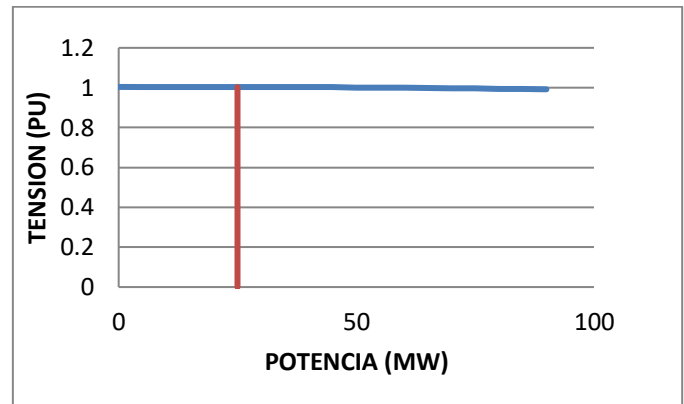
$$P_0 = 13,153MW$$

$$P_i = 105MW$$

$$i = \frac{\ln\left(\frac{105MW}{13,153MW}\right)}{\ln(1,03)}$$

$$i = 70,27 \approx 70 \text{ años}$$

Nodo CUBA (13,2 KV) :



Grafica 3. CUBA de 13,2KV.

Aplicamos la fórmula para calcular los años que tomaría que este nodo lleve el sistema al colapso (teniendo en cuenta un crecimiento de 3% por año en la carga), tenemos que:

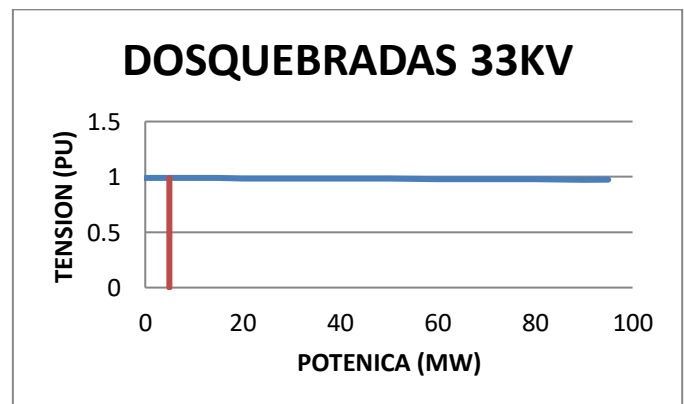
$$P_0 = 16,2MW$$

$$P_i = 95MW$$

$$i = \frac{\ln\left(\frac{95MW}{16,2MW}\right)}{\ln(1,03)}$$

$$i = 59,84 \approx 60 \text{ años}$$

Nodo DOSQUEBRADAS (33 KV) :



Grafica 4. DOSQUEBRADAS de 33KV

Aplicamos la fórmula para calcular los años que tomaría que este nodo lleve el sistema al colapso (teniendo en cuenta un crecimiento de 3% por año en la carga), tenemos que:

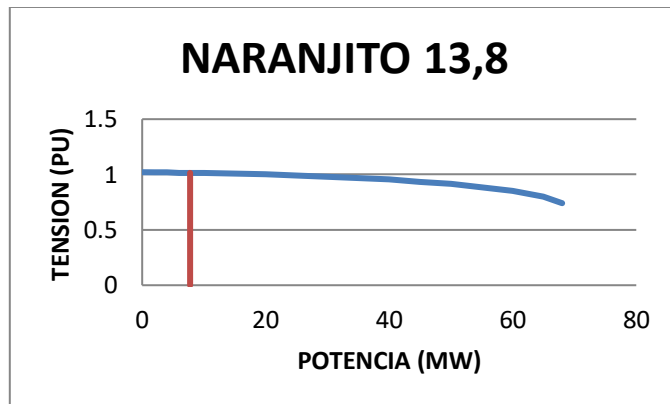
$$P_0 = 4,95MW$$

$$P_i = 521MW$$

$$i = \frac{\ln\left(\frac{521MW}{4,95MW}\right)}{\ln(1,03)}$$

$$i = 157,52 \approx 158 \text{ años}$$

Nodo NARANJITO (13,8 KV):



Gráfica 5. NARANJITO de 13,8KV.

Aplicamos la fórmula para calcular los años que tomaría que este nodo lleve el sistema al colapso (teniendo en cuenta un crecimiento de 3% por año en la carga), tenemos que:

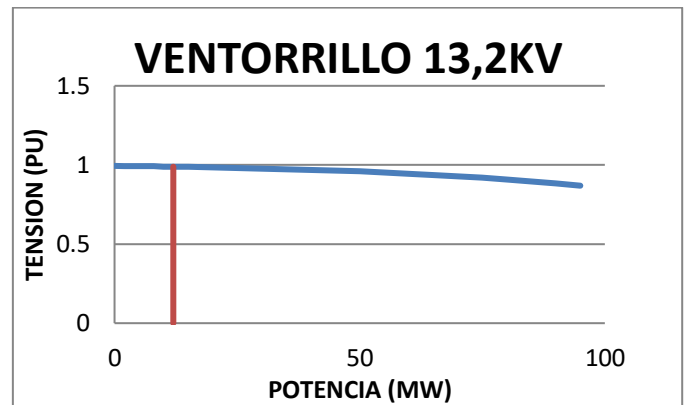
$$P_0 = 7,76MW$$

$$P_i = 69MW$$

$$i = \frac{\ln\left(\frac{69MW}{7,76MW}\right)}{\ln(1,03)}$$

$$i = 73,92 \approx 74 \text{ años}$$

Nodo VENTORRILLO (13,2KV):



Gráfica 6. VENTORRILLO de 13,2KV.

Aplicamos la fórmula para calcular los años que tomaría que este nodo lleve el sistema al colapso (teniendo en cuenta un crecimiento de 3% por año en la carga), tenemos que:

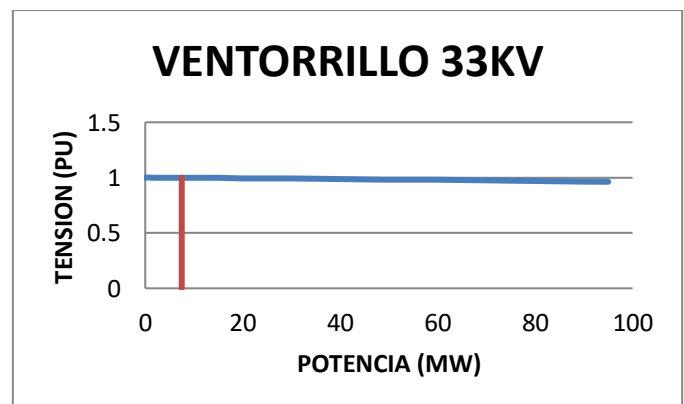
$$P_0 = 11,99MW$$

$$P_i = 119,5MW$$

$$i = \frac{\ln\left(\frac{119,5MW}{11,99MW}\right)}{\ln(1,03)}$$

$$i = 73,92 \approx 74 \text{ años}$$

Nodo VENTORRILLO (33KV):



Gráfica 7. VENTORRILLO de 33KV.

Aplicamos la fórmula para calcular los años que tomaría que este nodo lleve el sistema al colapso (teniendo en cuenta un crecimiento de 3% por año en la carga), tenemos

que:

$$P_0 = 7,480MW$$

$$P_i = 318MW$$

$$i = \frac{\ln\left(\frac{318MW}{7,480MW}\right)}{\ln(1,03)}$$

$$i = 126,85 \approx 127 \text{ años}$$

A continuación se verán las tablas con los datos que se tomaron para graficar, en ellas podemos ver la tensión en los nodos, así como los puntos en donde algunas líneas y transformadores se sobrecargaron. Algunos nodos no colapsaron a los 95MW, estos nodos se denominan como “nodos fuertes”, mientras que otros colapsaron a los 95MW y algunos incluso, colapsaron antes de llegar a este valor que se tomó como máximo posible para este sistema (95MW), estos nodos se denominan como “nodos débiles” o “sensibles”.

Tabla NODO PAVAS (13,8KV).

Pcarga= 95MW			
Nodo	V	U	V ángulo
	KV	%	°
BEL_13,2	13,412	101,61	-4,8
BEL_2,4	2,378	99,07	-3,4
CAR_115	118,081	102,68	-2,4
CE_13,2	13,22	100,15	-5,2
CE_33	33,119	100,36	-2,6
CUB_115	113,122	98,37	-0,2
CUB_13,2	13,188	99,91	-6,2
CUB_33	33,847	102,57	-3,3
DQ_115	115,416	100,36	-0,9
DQ_13,2	13,399	101,51	-6,4
DQ_33	32,602	98,79	-2,5
LIBARE	13,276	100,58	-2,9
NAR_13,8	14,001	101,46	-5,6
NAR_33	33,136	100,41	-3,4
PAV_115	115,504	100,44	-2,7
PAV_13,8	13,696	99,25	-10,7
RO_115	115	100	0
RO_33	33,95	102,88	-1,8
VEN_13,2	13,05	98,86	-4,2
VEN_33	32,965	99,89	-2,9
Sobrecarga Transformador pavas. 159,64%/159,55%			

Tabla 1. NODO PAVAS 13,8KV.

- Este nodo se puede clasificar como “nodo fuerte” ya que llegando al valor máximo de 95MW, no se ve muy afectado el sistema, solo se sobrecarga el transformador de PAVAS. Como se puede apreciar en la tabla, las tensiones de los demás nodos no varían drásticamente y el sistema opera con normalidad.

Tabla NODO CENTRO (13,2KV).

Pcarga= 95MW		
Nodo	V	U
	KV	%
BEL_13,2	13,147	99,6
BEL_2,4	2,33	97,1
CAR_115	118,081	102,68
CE_13,2	10,983	83,21
CE_33	30,687	92,99
CUB_115	112,65	97,96
CUB_13,2	12,918	97,86
CUB_33	33,19	100,57
DQ_115	115,322	100,28
DQ_13,2	12,877	97,55
DQ_33	31,444	95,28
LIBARE	12,899	97,72
NAR_13,8	13,639	98,83
NAR_33	32,304	97,89
PAV_115	116,647	101,43
PAV_13,8	13,968	101,22
RO_115	115	100
RO_33	33,107	100,32
VEN_13,2	12,666	95,96
VEN_33	32,018	97,02
Sobrecarga transformador Centro_456,97/456,75%		
Sobrecarga Línea RO-CE33_ 216,28%		
Tensión por debajo de lo permitido CE_13,2 83,21 %		
Tensión por debajo de lo permitido CE_33 92,99%		
Sobrecarga Línea DQ-CE33_ 121,29%		
Sobrecarga Línea DQ-CUB33_ 100,02%		

Tabla 2. NODO CENTRO 13,2KV

- **NODOS** con un valor cercano al mínimo permitido de 95%.
- **NODOS** con un valor inferior al permitido de 95%.

Tabla NODO CUBA (13,2KV).

Pcarga= 95MW		
Nodo	V	U
	KV	%
BEL_13,2	12,471	94,48
BEL_2,4	2,211	92,11
CAR_115	118,081	102,68
CE_13,2	13,092	99,19
CE_33	32,812	99,43
CUB_115	111,983	97,38
CUB_13,2	12,23	92,65
CUB_33	32,332	97,98
DQ_115	115,533	100,46
DQ_13,2	13,204	100,03
DQ_33	32,171	97,49
LIBARE	13,065	98,98
NAR_13,8	13,588	98,46
NAR_33	32,187	97,54
PAV_115	116,75	101,52
PAV_13,8	13,981	101,31
RO_115	115	100
RO_33	33,803	102,43
VEN_13,2	12,836	97,24
VEN_33	32,436	98,29
Sobrecarga transformador1 CUB,255,72/255,49%		
Sobrecarga transformador2 CUB,242,48/248,40%		
Sobrecarga transformador3 CUB,106,10/120,01%		
SobrecargaLíneaCUB-RO115_112,96%		
Tensión por debajo de lo permitido BEL_2,4 92,11%		
Tensión por debajo de lo permitido CUB_13,2 92,65%		
Sobrecarga Línea DQ-CUB33_105,53%		
Sobrecarga Línea RO-VEN33_105,34%		

Tabla 3. NODO CUBA (13,2KV).

- **NODOS** con un valor cercano al mínimo permitido de 95%.
- **NODOS** con un valor inferior al permitido de 95%.

El colapso del sistema para este nodo, se presenta cuando la carga alcanza un valor máximo de 143MW, muy por encima de los 95MW, lo cual lo hace un nodo fuerte.

Tabla DOSQUEBRADAS (13,2KV).

Pcarga= 94MW		
Nodo	V	U
	KV	%
BEL_13,2	12,884	97,6
BEL_2,4	2,284	95,16
CAR_115	118,081	102,68
CE_13,2	12,542	95,02
CE_33	31,491	95,43
CUB_115	112,294	97,65
CUB_13,2	12,65	95,84
CUB_33	32,54	98,61
DQ_115	115,005	100
DQ_13,2	9,933	75,25
DQ_33	30,279	91,75
LIBARE	12,684	96,09
NAR_13,8	13,383	96,98
NAR_33	31,717	96,11
PAV_115	116,491	101,3
PAV_13,8	13,949	101,08
RO_115	115	100
RO_33	33,213	100,65
VEN_13,2	12,447	94,3
VEN_33	31,479	95,39
Sobrecarga tranformador T1_DQ_13,2_506,32/531,90%		
Sobrecarga tranformador T2_DQ_13,2_495,74/520,79%		
Sobrecarga Línea RO_33/CE_33- 141,15%		
Tension por debajo de lo permitido DQ_13,2/ 75,25%		
Sobrecarga Línea DQ_33/CUB_33- 129,69%		
SobrecargaLíneaRO_33/VEN_33- 120,64%		
Tension por debajo de lo permitido DQ_33/ 91,75%		
Tension por debajo de lo permitido VEN_13,2/ 94,3%		
Sobrecarga tranformador T3_CUB_33_91,49/103,66%		
Sobrecarga Línea DQ_33/CE_33- 110,42%		

Tabla 4. NODO DOSQUEBRADAS (13,2KV).

- **NODOS** con un valor cercano al mínimo permitido de 95%.
- **NODOS** con un valor inferior al permitido de 95%.

- El colapso total del sistema para este nodo se da cuando su carga llega a los 95MW, lo cual lo hace un nodo muy sensible a cambios de su carga.

Tabla DOSQUEBRADAS (33KV).

Pcarga= 95MW		
Nodo	V	U
	KV	%
BEL_13,2	13,373	101,31
BEL_2,4	2,371	98,77
CAR_115	118,081	102,68
CE_13,2	13,119	99,39
CE_33	32,875	99,62
CUB_115	112,841	98,12
CUB_13,2	13,148	99,6
CUB_33	33,749	102,27
DQ_115	115,413	100,36
DQ_13,2	13,217	100,13
DQ_33	32,199	97,57
LIBARE	13,185	99,88
NAR_13,8	13,925	100,9
NAR_33	32,96	99,88
PAV_115	116,691	101,47
PAV_13.8	13,973	101,26
RO_115	115	100
RO_33	33,93	102,82
VEN_13,2	12,957	98,16
VEN_33	32,736	99,2
Sobrecarga Línea RO_33/CE_33- 114,80%		
Sobrecarga Línea RO_33/VEN_33- 102,75%		

Tabla 5. NODO DOSQUEBRADAS (33KV).

- El colapso total del sistema para este nodo es de un valor de carga de 521 MW, llegando a un valor de 95MW, no presenta problemas de bajas tensiones, solo se presenta sobrecarga en 2 líneas de transmisión. Podemos concluir con esto, que se trata de un nodo muy fuerte para el sistema.

Tabla NARANJITO (13,8KV).

Pcarga= 68MW		
Nodo	V	U
	KV	%
BEL_13,2	12,729	96,43
BEL_2,4	2,256	94,01
CAR_115	118,081	102,68
CE_13,2	12,874	97,53
CE_33	32,287	97,84
CUB_115	112,09	97,47
CUB_13,2	12,493	94,64
CUB_33	32,158	97,45
DQ_115	115,408	100,35
DQ_13,2	12,953	98,13
DQ_33	31,615	95,8
LIBARE	12,446	94,28
NAR_13,8	10,232	74,14
NAR_33	28,587	86,63
PAV_115	116,689	101,47
PAV_13.8	13,973	101,25
RO_115	115	100
RO_33	33,324	100,98
VEN_13,2	12,205	92,46
VEN_33	30,882	93,58
Sobrecarga transformador T1_NAR_13,8_376,84/367,18%		
Sobrecarga Línea RO_33/VEN_33- 167,38%		
Tensión por debajo de lo permitido NAR_13,8/ 74,14%		
Tensión por debajo de lo permitido NAR_33/ 86,63%		
Sobrecarga Línea NAR_33/VEN_33- 137,33%		
Sobrecarga Línea CUB_33/NAR_33- 157,01%		
Tensión por debajo de lo permitido VEN_13,2/ 92,46%		
Tensión por debajo de lo permitido VEN_33/ 93,58%		
Tensión por debajo de lo permitido LIBARE/ 94,28%		
Tensión por debajo de lo permitido CUB_13,2/ 94,64%		
Tensión por debajo de lo permitido BEL_2,4/ 94,01%		

Tabla 6. NODO NARANJITO (13,8KV).

- **NODOS** con un valor cercano al mínimo permitido de 95%.
- **NODOS** con un valor inferior al permitido de 95%.

- El colapso total del sistema ocurre cuando el valor de la carga para este nodo es de 69MW, el cual está muy por debajo del valor máximo de 95MW, lo cual lo hace un nodo muy sensible a cambios en su carga.

Tabla VENTORRILLO (13,2KV).

Pcarga= 95MW		
Nodo	V	U
	KV	%
BEL_13,2	13,1	99,25
BEL_2,4	2,322	96,76
CAR_115	118,081	102,68
CE_13,2	12,923	97,9
CE_33	32,403	98,19
CUB_115	112,549	97,87
CUB_13,2	12,871	97,5
CUB_33	33,075	100,23
DQ_115	115,415	100,36
DQ_13,2	13,033	98,74
DQ_33	31,792	96,34
LIBARE	11,729	88,86
NAR_13,8	13,24	95,94
NAR_33	31,39	95,12
PAV_115	116,692	101,47
PAV_13.8	13,974	101,26
RO_115	115	100
RO_33	33,363	101,1
VEN_13,2	11,474	86,93
VEN_33	30,57	92,64
Sobrecarga transformador T3_VEN_331,14/315,12%		
Sobrecarga Línea RO_33/VEN_33- 222,04%		
Sobrecarga transformador T1_VEN_320,61/328,75%		
Sobrecarga transformador T2_VEN_243,89/250,11%		
Tension por debajo de lo permitido VEN_13,2/ 86,93%		
Tension por debajo de lo permitido LIBARE/ 88,86%		
Tension por debajo de lo permitido VEN_33/ 92,64%		

Tabla 7. NODO VENTORRILO (13,2KV).

- **NODOS** con un valor cercano al mínimo permitido de 95%.
- **NODOS** con un valor inferior al permitido de 95%.
- El colapso total del sistema se da cuando la carga llega a un valor de 119,5MW.

Tabla VENTORRILLO (33KV).

Pcarga= 95MW		
Nodo	V	U
	KV	%
BEL_13,2	13,301	100,77
BEL_2,4	2,358	98,25
CAR_115	118,081	102,68
CE_13,2	13,127	99,45
CE_33	32,895	99,68
CUB_115	112,771	98,06
CUB_13,2	13,075	99,05
CUB_33	33,572	101,73
DQ_115	115,533	100,46
DQ_13,2	13,272	100,54
DQ_33	32,32	97,94
LIBARE	12,811	97,06
NAR_13,8	13,637	98,82
NAR_33	32,301	97,88
PAV_115	116,75	101,52
PAV_13.8	13,98	101,31
RO_115	115	100
RO_33	33,801	102,43
VEN_13,2	12,577	95,28
VEN_33	31,799	96,36
Sobrecarga Línea RO_33/VEN_33- 206,81%		

Tabla 8. NODO VENTORRILO (33KV).

NODOS con un valor cercano al mínimo permitido de 95%.

- El colapso total del sistema se da cuando la carga de este nodo alcanza un valor de 318MW, apareciendo, con un valor de 95MW, unas tensiones peligrosamente cercanas al valor mínimo que se permite (95%).

Conclusiones.

- Este estudio permitió ver que los sistemas de potencia están bien diseñados de tal forma que aunque ocurran incrementos en las cargas, este no se verá afectado a corto plazo.
- Se pudo ver nodos que aunque la carga se incrementara mucho, esta tendría que sobrepasar lo equivalente a la suma de todas las cargas para que el sistema entre en colapso total.
- Antes de un colapso total de sistema por demandas de potencia incrementadas, este incremento dará como resultado sobrecargas en líneas de transmisión y en transformadores, como también una caída de tensión por debajo de lo permitida en algunos nodos. De esta forma, será fácil detectar cuando el problema comience y así, poder buscar soluciones para este.
- Existen nodos débiles que al aumentar su carga, entran en colapso total muy rápidamente, pero, el tiempo que tomaría para ello, es de años.
- El programa usado para la simulación del caso base (NEPLAN) nos arroja datos de colapso de sistema por tensiones, ya sean tensiones que sobrepasen lo máximo permitido o tensiones que bajen del mínimo permitido, no pasa lo mismo con los elementos de sistema como líneas o transformadores, estos, al sobrecargarse, en el programa aparece una advertencia de sobrecarga, pero el sistema no colapsa. En la práctica, al pasar este tipo de situaciones, los transformadores afectan su vida útil y las líneas también pierden vida útil.
- Los cambios en las cargas se deben generalmente al crecimiento de población o en algunos casos, la apertura de industrias que son un gran consumidor de potencia activa.
- Existen estudios que garantizan un sistema equilibrado y que ayuda a que estos sistemas, con el pasar de los años, no se vean afectados por el cambio de potencia activa requerida por las cargas.

Referencias.

- [1] http://www.xm.com.co/MemoriasCapacitacionEMSA/Control_Voltaje/Control_Voltaje.pdf
- [2] <https://manautomata.files.wordpress.com/2012/10/stivenson3.pdf>
- [3] [http://www.xm.com.co/Memorias%20Seminarios/\(2007\)Caracter%C3%ADsticas%20del%20Sistema%20El%C3%A9ctrico%20Colombiano.pdf](http://www.xm.com.co/Memorias%20Seminarios/(2007)Caracter%C3%ADsticas%20del%20Sistema%20El%C3%A9ctrico%20Colombiano.pdf)
- [4] <http://www.bdigital.unal.edu.co/11863/1/7907502>. 2013.pdf
- [5] <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1767/6213743L864.pdf?sequence=1>
- [6] <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/3952/6213743P348.pdf?sequence=1>